

DER STOFFWECHSEL DER HEFEZELLE

BEI DER ALKOHOLGÄHRUNG

von Dr. WILHELM SCHACHT.

Durch die wichtigen Untersuchungen von Pasteur wurde die schon früher von Schwann, Mitscherlich und Anderen aufgestellte Ansicht bestätigt, dass die Gährungserscheinungen durch die Anwesenheit niederer Organismen, Zellen, Pilzen, sogenannter Fermentorganismen, bedingt seien. Pasteur schloss weiter daraus, dass die Gährungsvorgänge als Stoffwechselprozesse der Fermentorganismen zu betrachten seien. Es bildet diese Ansicht einen grossen Fortschritt gegenüber der älteren Contacttheorie. Liebig erläuterte diese bekanntlich so, dass das Ferment, selbst ein in Umsetzung begriffener Körper, seine innere Bewegung mechanisch auf das Gährungssubstrat übertrage und dessen Spaltung dadurch bewirke. Dabei blieb es gänzlich unerklärt, welcher Art diese innere Bewegung des Fermentes sei oder wie diese sich auf einen andern Körper übertragen und in diesem Spaltungen eigenthümlicher Art anregen könne. Im Grunde genommen, bleiben diese Fragen auch nach der Pasteur'schen Ansicht offen; der Vorgang ist nur in das Innere der Zelle verlegt, aber nicht erklärt. Nur dadurch bahnt dieselbe das richtige Verständniss an, insofern die Gährung als der Vorgang, das Resultat des Lebens der Zelle — der Hefezelle — betrachtet wird. Entschieden ist es aber kein Fortschritt, sondern verhindert eher die Erkenntniss des wirklichen Vorganges, wenn man neuerdings den Begriff der Gährung dahin feststellen will, als die Zerlegung eines Substrates durch einen andern Körper (Ferment), welcher

dabei selbst längere Zeit unverändert bleiben könne. Diese Definition, wobei ganz irrig der Nachdruck nur zu leicht auf das « unverändert bleiben » gelegt wird, bietet den scheinbaren Vortheil, dass nun unter den Fermentkörpern auch die sogenannten nicht organisirten Fermente, wie Ptyalin, pankreatischer Saft, Pepsin u. a. m. können inbegriffen werden, womit aber zusammengeworfen wird, was gar nicht zusammen gehört. Auf der andern Seite, allerdings folgerichtig und mit mehr Recht, kann der Begriff des Fermentkörpers selbst auf die höheren Pflanzen und Thiere ausgedehnt und diese Gährungsorganismen genannt werden, insofern sie in der That fortwährend Stoffe zerlegen und dabei selbst in ihrer Zusammensetzung, solange sie sich im Gleichgewichtszustande der Ernährung befinden, constant bleiben. Nach dieser Auffassung ist eine Einsicht in das Wesen des Stoffwechsels schlechterdings unmöglich. Das Leben kann nicht aufgefasst werden als nur bestehend in der äusserlichen Einwirkung des lebenden Körpers auf die zu zerlegenden Stoffe — Gährungssubstrat, Nahrungsstoffe — zum Zwecke der Wärme und Kraftproduktion. Das Leben der Fermentkörper, sagen wir, nach dem weitesten Begriffe derselben : der höheren Thierorganismen, besteht in deren fortwährender inneren Bewegung und Umsetzung, wobei die gesammte Zusammensetzung derselben immerhin unverändert zu bleiben erscheint, durch fortwährende Neubildung oder Regeneration des Umgesetzten. Diese Thätigkeit und die Erhaltung derselben : der lebenden, zerlegenden Körper, muss in ganz anderer, innigerer Beziehung stehen zu dem Substrat, den Nahrungstoffen, als nur in der Anregung zu der Spaltung dieser. Mit der Aufklärung dieses Verhältnisses ist der erste Schritt gethan zur richtigen Erkenntniss des Wesens des Stoffwechsels, des Lebens, nicht nur der Resultate, der Producte desselben, mit denen man sich fast ausschliesslich beschäftigt hat und mit deren Kenntniss man den Prozess des Stoffwechsels ergründet zu haben glaubt.

Untersuchen wir nun den Vorgang des Stoffwechsels, wie er in primitivster Form bei der am genauesten bekannten und

studirten Gährung, der Alkoholgährung, in der Hefezelle stattfindet.

Der Vorgang ist zunächst folgender. Die Hefezellen nehmen den Zucker aus der Gährungsflüssigkeit in sich auf, verschlucken ihn und scheiden als Resultat ihres Stoffwechsels die Spaltungsprodukte aus, neben Alkohol und Kohlensäure noch Bernsteinsäure und Glycerin. Ob die Zellen, nach Pasteur, dabei noch Sauerstoff aufnehmen und verbrauchen, lassen wir dahingestellt. Der Inhalt der Zellen ist eine eiweissartige Substanz; sind Eiweisskörper in der Gährungsflüssigkeit vorhanden, so nimmt die Masse der Hefe zu, die Zellen vermehren sich, die Hefe wächst.

Der Vorgang wird also eingeleitet durch eine Attraction, welche von den Zellen auf den Zucker ausgeübt wird. Selbstverständlich ist eine gewisse Wärme erforderlich, wie wir aus Erfahrung wissen, dass alle organische Vorgänge nur zwischen gewissen, nach unten und oben eng begrenzten Temperaturen möglich sind. Diese Attraction ist zunächst eine spezifische, indem die Zelle nur gährungsfähigen Trauben-Zucker — auch Albuminate — aufnimmt, nicht aber andere in der Lösung befindliche Stoffe, wie Weinsäure, Salze, Extractiv- und Farbstoffe. Wir können sie eine spezifische nennen, weil andere Fermentorganismen, auch die verschiedenen Zellen höherer Thierorganismen, Anziehungen auf andere Stoffe und Verbindungen ausüben, die der besonderen Art der Zellen eigenthümlich sind und von der Zusammensetzung des Inhaltes der verschiedenen Zellen abhängen. Diese Attraction ist ferner keine einfache, sogenannte physikalische, wie sie zwischen Atomen und Molekülen angenommen wird; sie ist auch gänzlich verschieden von einer rein chemischen, wie sie ein wasseranziehendes Salz, z. B. Chlorkalium, auf Wasser ausübt. Dieses Salz entzieht der umgebenden Luft allerdings das Wasser, das letztere und das Salz erleiden dabei aber keine Veränderung, als dass dieses mit dem Wasser zerfließt, sich darin auflöst; damit hört die Attraction auf, weitere Thätigkeit oder Umsetzungen finden nicht statt. Bei der Hefezelle ist jedoch die

Attraction nur der Beginn weiterer Thätigkeit, eines Prozesses, der nun den Zerfall des angezogenen Stoffes zur Folge hat. Die Hefezelle ist ein für sich existirendes, geschlossenes Element, ein lebendes Element; jede nach aussen wirkende Thätigkeit, also auch Attraction und Stoffaufnahme, kann nur auf innerer Thätigkeit, Bewegung und Umsetzung der den Zelleninhalt bildenden Moleküle beruhen. Da wir eine selbstthätige Substanz aber, welche nur aus innerer Ursache, von sich aus, thätig ist und wirkt, für einen widersprechenden, undenkbaren Begriff halten, so kann die nothwendige innere Thätigkeit der Zelle nur entstehen, indem sie ausgelöst wird durch eine von aussen kommende Erregung, einen Reiz. Wir sehen dies auch an den Folgen. Der Zucker wird nicht aufgenommen um in der Zelle zu bleiben, sich mit dem Zelleninhalt zu verbinden; der Reiz, der zuerst Attraction hervorgerufen, wirkt weiter. Virchow, in seinen Epoche machenden, cellularpathologischen Untersuchungen, schreibt jeder Zelle Irritabilität zu und zwar unterscheidet er nutritive, funktionelle und formative Reizbarkeit. Bei einem so niederen, primitiven Organism wie der Hefezelle können wir wohl nur von nutritiver Reizbarkeit, in ihrer einfachsten Form, reden, aber diese müssen wir derselben zuschreiben. Wir sagen also, der Zucker in der Gährungsflüssigkeit bilde für die Hefezelle einen Reiz, in Folge dessen Attraction und Aufnahme von Zucker in die Zelle stattfindet: also Thätigkeit; sobald aber durch einen Reiz eine Thätigkeit ausgelöst wird, muss zu der Aeusserung derselben lebendige Kraft vorhanden sein und verbraucht werden.

Woher rührt diese und in welcher Richtung wirkt sie? Wir bezeichnen das Streben der unverbundenen chemischen Elemente, der Atome, nach Vereinigung, mit dem gegenwärtig gebräuchlichen Ausdruck als Spannkraft; bei der chemischen Verbindung der Atome verschwindet dieselbe und es wird lebendige Kraft oder Wärme frei. Zur Trennung dieser verbundenen Atome wird lebendige Kraft oder Wärme verbraucht und zwar nach dem Gesetz der Erhaltung der Kraft ebensoviel als bei der Vereinigung frei wurde. Je fester die Atome in

einer Verbindung sich vereinigt finden, um so mehr lebendige Kraft wird zur Trennung der Atome oder deren Ueberführung in losere Verbindung verbraucht, die alsdann als Spannkraft in denselben vorhanden ist. Je loser die Atome in einer Verbindung zusammenhängen, um so mehr Spannkraften sind vorhanden, welche als lebendige Kraft frei werden, wenn sich diese Atome zu einfacheren, festeren Verbindungen vereinigen.

Von den physiologisch wichtigsten Gruppen der organischen Verbindungen, den stickstoffhaltigen und stickstofffreien, besitzen die letzteren, die Fette und Kohlehydrate, eine grössere Constanz ihrer Verbindung; sie zersetzen sich und faulen nicht für sich, dagegen werden sie durch Fermente leicht gespalten; sie sind direkt, oder ihre Spaltungsprodukte, brennbar und liefern bedeutende Wärmemengen durch Oxydation ihres Wasser- und Kohlen-Stoffs zu Wasser und Kohlensäure. Die Albuminate haben offenbar ein loseres Atomengefüge, sie zersetzen sich ausserordentlich leicht und sind hervorragend fäulnissfähige Körper; es sind sehr komplexe Verbindungen mit hohem Atomengewicht und gänzlich unbekannter chemischer Constitution; wir wissen nur, dass sie im höheren thierischen Organismus Spaltungen beim Stoffwechsel erleiden und man bezeichnet als ihre Componenten stickstoffhaltige, einfachere Verbindungen, Kohlehydrate (Glykogen) und Fette. Da wir den Albuminaten die losere Atomenverbindung zuschreiben, also die meisten Spannkraften, und in dieser Form am meisten lebendige Kraft in ihnen angehäuft ist, so sollte man annehmen, dass gerade sie vorzugsweise im thierischen Körper zur Produktion von Wärme und Kraft dienen würden. Dem ist aber durchaus nicht so, wenigstens nicht direkt. Die Fette und Kohlehydrate sind es vielmehr, welche für den thierischen Organismus durch ihre Verbrennung die Quelle der Wärme und Kraftproduktion bilden. Direkt können sie nun nicht mit Sauerstoff sich verbinden, wenigstens bei der Temperatur des thierischen Körpers; um zur Verbindung mit Sauerstoff geeignet zu werden, müssen sie erst gespalten, ihre Atome in losere

Verbindung umgesetzt werden; hiezu ist nun lebendige Kraft nöthig und diese zu liefern, das ist eben die Aufgabe der Albuminate. In welcher Weise das geschieht, das sehen wir am einfachsten bei dem Stoffwechsel der Hefezelle.

Wir sagen: durch den Reiz, welchen der Zucker auf die Zelle ausübt, wird in dieser eine Thätigkeit ausgelöst, wird lebendige Kraft frei. Wir betrachten die Reizbarkeit einer Substanz, also hier des die Zelle erfüllenden Albuminates, als auf deren chemischer Constitution beruhend; in der Physiologie spricht man von chemischen, elektrischen und mechanischen Reizen, alle diese bewirken eine Alteration der chemischen Constitution der reizbaren Substanz. Wie dieses zu denken sei, das lässt sich aus den neuern Anschauungen über die Molekular-Constitution und Atomenverkettung der organischen Verbindungen ableiten. Die Untersuchungen hierüber würden uns jedoch zu weit führen; es ist hier nicht der Ort dazu und genügt es darauf hinzudeuten. In unserm Falle regt also der durch den Zucker ausgeübte Reiz eine innere Umsetzung der Moleküle des Zelleninhaltes an, es müssen Spannkkräfte verschwinden, damit lebendige Kraft frei werden kann, und dies ist nur möglich, indem einzelne oder sämtliche Atomgruppen des Zelleninhaltes, des Albuminates, sich in festere Verbindung vereinigen; es erfolgt also eine beginnende Spaltung. Der Widerspruch, der sich hier zu ergeben scheint, dass lebendige Kraft frei werden soll bei einer beginnenden Spaltung, also Trennung, wobei ja Kraftverbrauch stattfinden muss, hebt sich leicht wenn wir bedenken, dass bei dem Entstehen festerer Verbindungen sofort weit mehr lebendige Kraft frei wird, als zur Trennung der sehr lose zusammenhängenden und wie wir wissen auf die geringsten äusseren Einwirkungen auseinanderfallenden Atomgruppen der Albuminate verbraucht wird. Aus der Art wie die Albuminate im thierischen Körper, wie oben erwähnt, zerfallen, müssen wir diesen die Tendenz zuschreiben, dass sich die Atome leicht zu bestimmten einfacheren Atomgruppen, allgemein in eine stickstoffhaltige und eine stickstofffreie (jede derselben kann wieder in mehrere zerfallen,

wie die letztere in Glycogen und Fett) zusammenschliessen. Ist diese innere Umsetzung nun die Folge des Reizes, so wird dabei, indem Spannkkräfte verschwinden, wohl genügend lebendige Kraft frei, um die Erscheinungen der Attraction und der bei der Gährung auftretenden Wärme zu erklären. Weitere Folgen könnten aber nicht eintreten; die Zusammensetzung des Zelleninhaltes, worauf doch die Thätigkeit der Zelle beruht, wäre verändert, das Albuminat zerstört, die Thätigkeit der Zelle also erloschen. Ein Prozess hätte begonnen, aber sofort still gestanden. Wir sehen in Wirklichkeit das Gegentheil: die Gährung schreitet fort, die Zellenthätigkeit hört nicht auf; der Zelleninhalt, das Albuminat ist also nicht zerstört oder hat sich wieder hergestellt. Das letztere ist aber nur möglich, wenn die innere Umsetzung der Atome des Albuminates, welche zur Bildung einfacherer, festerer Verbindungen führt, allein oder doch vorzugsweise die eine der Hauptgruppen, die stickstoffhaltige oder die stickstofffreie betrifft. Von der ersteren können wir das nicht annehmen, sie müsste zur Restitution des Albuminates ersetzt werden und ein Ersatz wäre nicht möglich, da die Gährung auch in einer Zuckerlösung erfolgt, in welcher keine Eiweisskörper enthalten sind, ausser der Hefe selbst. Es ist also die stickstofffreie Atomgruppe, oder ein Component derselben, welche gänzlich zerstört wird, indem sie sich zu Alkohol und Kohlensäure zusammenschliesst; durch die Bildung dieser einfacheren, festeren Verbindungen (namentlich der Kohlensäure) wird lebendige Kraft frei, genügend um der stickstoffhaltigen Atomgruppe den Verlust an Spannkkräften, den sie im Beginn der Umsetzung ebenfalls erlitten, zu ersetzen, die Atome des angezogenen Zuckers zu lockern und ihn dadurch geeignet zu machen, von der stickstoffhaltigen Atomgruppe und den allenfalls vorhandenen anderen Componenten der stickstofffreien aufgenommen zu werden zur Wiederherstellung des Albuminates. Mit der völligen Restitution des Albuminates erlangt dieses seine Reizbarkeit wieder und der Prozess beginnt von Neuem und fährt fort. Das Albuminat hat offenbar keine Attraction mehr gegen Alkohol- und Kohlensäure, diese

werden von den von Neuem angezogenen Zucker verdrängt und ausgeschieden.

Man kann hier einwenden, dass kein genügender, mit Nothwendigkeit zwingender Grund einzig aus dem Spiel der Atomkräfte und der wirksamen chemischen Affinitäten könne hergeleitet werden, um die Wiederherstellung des Albuminates zu erklären: es müsse noch etwas hiezu beitragen und dieses sei eben als eigenthümliche Wirkung des Lebens der Zelle anzunehmen. Ich gebe das zu. Aber das Leben braucht nicht hiezu als etwas eigenthümliches, der chemischen Zusammensetzung der Zelle von aussen hinzugefügtes, etwa ursprünglich entstandenes, von Zelle zu Zelle übertragenes und somit unerklärbares aufgefasst zu werden. Wir nehmen das Leben als die Gesamteinwirkung des Organism, sei es einer auf der niedersten Stufe der Entwicklung stehenden, isolirten Zelle oder eines der höheren, thierischen Organismen, auf die einzelnen Organe, Zellen oder organische Verbindungen, welche die Erhaltung deren Zusammensetzung bedingt, respektive die Wiederherstellung derselben bestimmt, indem diese durch den Prozess des Stoffwechsels fortwährend gestört wird. Es ist diese Einwirkung, das Leben, sonach als eine Kraft zu bestimmen und man kann sie Lebenskraft nennen; aber durchaus nicht in dem Sinne des früheren, halb mystischen Begriffes, zu dessen Widerlegung mit allen Waffen der Wissenschaft gestritten wurde; wir fassen dieselbe gewissermassen als die Resultate der sämtlichen Einwirkungen der Atome, Atomgruppen und Verbindungen aufeinander. Diese hier nur kurz angedeutete Auffassung des Lebens, welche durchaus nichts Mystisches enthält und sich mit hinreichender Schärfe aus der physikalisch-chemischen molekular-atomistischen Anschauung entwickeln lässt, gewährt uns die Möglichkeit, den oben entwickelten und nicht völlig hinreichenden Grund der Restitution des Albuminates zu ergänzen. Da nicht alle Moleküle des Albuminates gleichzeitig, sondern nur nach und nach, in Umsetzung gerathen, so ist wohl immer die Mehrzahl als intakt zu betrachten, welche das Leben der Zelle repräsentiren und

die in Umsetzung begriffenen zur Wiederherstellung bestimmen. Wir finden in unserer Auffassung fernerhin den Erklärungsgrund, für weitere bei der Gährung auftretende Erscheinungen. Ist nämlich in der Gährungsflüssigkeit kein Ersatz-Albuminat vorhanden, so ist ein gegebenes Quantum Hefe nicht im Stande beliebig viel Zucker zu zerlegen, sondern ebenfalls nur ein bestimmtes Quantum, worauf alsdann die Gährung aufhört. Es erklärt sich dieses zunächst daraus, das nach dem Gesetz der Erhaltung der Kraft bei der Fortdauer des Processes ein nothwendig entstehender Kraftverlust durch den gänzlichen Zerfall von Albuminatmolekülen, indem dieselbe durch Bildung festerer Verbindungen einen grossen Theil ihrer Spannkraft abgeben, gedeckt werden muss; zweitens verliert der schwächer werdende Rest der intakten Moleküle an bestimmendem Einfluss auf die Restitution, die Lebenskraft in dem oben angegebenen Sinne wird schwächer, erlischt, die Zelle stirbt und die Gährung hört auf. Sind dagegen Albuminate in der Gährungsflüssigkeit gegeben, so werden auch diese in die Zelle mit dem Zucker aufgenommen, gerathen mit in den Umsetzungsprozess und werden, erst in beginnendem Zerfall begriffen, durch die Einwirkung des Zelleninhaltes bestimmt — oder vielmehr deren Componenten — sich als ein dem Zelleninhalt homogenes Albuminat zu restituiren, theils als Ersatz des älteren, zerfallenen, theils die Masse vermehrend. Die Zelle geräth dadurch in einen Zustand, den wir nach Virchow als formative Reizung bezeichnen können; es entsteht durch Theilung eine neue, die Hefe nimmt zu, sie wächst. Dass solche Albuminatzersetzungen jederzeit bei der Gährung stattfinden, darauf deuten wohl die andern bei dieser auftretenden Spaltungsprodukte, als Bernsteinsäure und Glycerin, ganz bestimmt eine nicht näher untersuchte neben den Hefezellen sich findende, organische, nicht organisierte Substanz, ein Auswurfstoff.

Resümiren wir noch über das Gleichgewicht der gewonnenen und verbrauchten lebendigen Kraft bei unserm Prozesse. Der Reiz bewirkt Verlust an Spannkraften: lebendige Kraft wird frei; Kraft wird verbraucht durch Attraction und Auf-

nahme von Zucker, ferner durch Lockerung von dessen Atomen; Kraft wird frei durch Zusammenschliessen der Spaltungsprodukte, namentlich durch Bildung von Kohlensäure; verbraucht wird dieselbe durch Abgabe an die stickstoffhaltige Componente um deren anfänglichen Verlust an Spannkraften zu ersetzen, ebenso an die andere stickstofffreie, sofern eine solche vorhanden; ausserdem äussert sie sich als Gährungswärme. Ob bei der Vereinigung der Componenten mit dem gelockerten Zucker zur Wiederherstellung des Albuminates Kraft frei wird, da eine Verbindung entsteht, oder vielmehr Kraft zur Erzeugung von Spannkraften verbraucht wird, da das ganze Albuminat eine sehr lose Verbindung mit starken Spannkraften darstellt, können wir noch nicht entscheiden. Schliesslich wird der Saldo des Kraftverlustes bei dem ganzen Kreislauf des Prozesses durch den allmählichen Zerfall des Albuminates ausgeglichen.

Wir sehen in dem Stoffwechsel der Hefezelle das Schema des Stoffwechsels jedes, auch des höheren, thierischen Organismus. Selbstverständlich kann dieser Prozess, den wir hier nur in der primitivsten Form untersucht haben, sich in der mannigfaltigsten Weise äussern, jenachdem das thätige Albuminat verschiedene Componenten besitzt, demgemäss verschiedene Spaltungsprodukte erzeugt und nicht nur Zucker, sondern auch Fette aufnehmen kann; ein sehr complexes Albuminat (vielleicht Hämoglobulin) kann sogar einfachere Albuminate bei der Umsetzung als Componenten aufnehmen, ganz oder die Spaltungsprodukte derselben. Modifizirt wird der Prozess noch durch Zuführung von Sauerstoff, was wir bei der Hefezelle nicht berücksichtigen zu dürfen glaubten. Im Allgemeinen erkennen wir nun den Grund, warum streng genommen nur Fette und Kohlehydrate als Nahrungstoffe zu betrachten sind, die Albuminate dagegen als Verarbeiter derselben. Es versteht sich, dass auch letztere ersetzt werden müssen und auch indirekt, durch Spaltung, Fette und Kohlehydrate, also Nahrungstoffe, liefern. Wir erkennen auch den Grund der Constanz der Harnstoffausscheidung, das heisst warum die Menge desselben

nicht in dem Verhältnisse zunimmt, bei gesteigerter Kraft- und Wärme-Produktion, wie die ausgeschiedene Kohlensäure. Weitere Folgerungen zu ziehen ist hier nicht der Ort. Ich habe im Vorstehenden nur den Gährungsprozess behandeln wollen, als einen Gegenstand, der auch in weiteren, naturwissenschaftlichen Kreisen Interesse finden kann, indem ich die völlige Ausführung und Anwendung auf die Erklärung verschiedener Probleme der Ernährung in einer besonderen Arbeit den Fachgenossen vorlegen werde.
